

## II-164 APLICAÇÃO DA FLOCULAÇÃO AERADA PARA SEPARAÇÃO DO LODO DE TRATAMENTO DE EFLUENTE INDUSTRIAL

### **Camille Nunes Leite**

Graduando pela Universidade Federal de Uberlândia. Aluna de Iniciação Científica pelo Laboratório de Armazenamento de Energia e Tratamento de Efluente (LAETE/UFU).

### **Marcio Ricardo Salla**

Professor Doutor da Faculdade de Engenharia Civil/UFU.

Laboratório de Saneamento da Faculdade de Engenharia Civil/UFU

### **Sheila Cristina Canobre**

Professora Doutora do Instituto de Química/UFU.

Laboratório de Armazenamento de Energia e Tratamento de Efluente (LAETE/UFU)

### **Fábio Augusto do Amaral**

Professor Doutor do Instituto de Química/UFU.

Laboratório de Armazenamento de Energia e Tratamento de Efluente (LAETE/UFU)

### **José Pedro Thompson Jr.**

Químico Industrial e Especialista em Gestão Ambiental pela Universidade São Francisco, Mestre em Química pela Universidade Federal de Uberlândia e Professor na Universidade São Francisco.

### **Endereço: LAETE- Laboratório de Armazenamento de Energia e Tratamento de Efluente**

Instituto de Química – Av. João Naves de Ávila, 2121, Bloco 1D, Campus Santa Mônica, Bairro Santa Mônica - Uberlândia – MG - CEP: 38408-100 – Brasil – Tel: (34) 3239-4143 R203

## **RESUMO**

O efluente gerado por Lavanderias Industriais é classificado como efluente industrial, e como tal representa um efluente de difícil tratamento, fazendo necessário estudo e tratamento específico para descarte adequado na via pública. O presente trabalho visou a investigação da floculação aerada via flotação por ar dissolvido (FAD) como alternativa de melhoria na separação sólido-líquido de um tratamento pouco eficaz obtido no estudo da adição de surfactante como auxiliar de flotação. Os ensaios foram conduzidos em testes de jarro adaptados ao processo de FAD, com alcalinização prévia por NaOH 10% (m/V) até pH de 9,0 a 250 s<sup>-1</sup>, seguido por coagulação com tanino classe SG 10% (V/V) até pH 4,0 a 47 s<sup>-1</sup> e uma alcalinização por Ca(OH)<sub>2</sub> 10% (m/V) até pH 9,5 a 47 s<sup>-1</sup> e a adição de polieletrólito aniônico 10 % (m/V) a 18 s<sup>-1</sup>, cujo produto é o efluente coagulado e floculado de maneira a produzir flocos expansivos, de baixa densidade, ideais ao processo de separação sólido-líquido via FAD. O estudo da floculação aerada ocorreu pela variação da concentração de polieletrólito aniônico (0,5; 1,0 e 1,5 ppm de poliacrilamida aniônica) adicionado na câmara de saturação, pressurizada à 4,5 Kg f cm<sup>-2</sup> durante 20 minutos contendo 20 ppm de surfactante. A injeção da H<sub>2</sub>O saturada ao efluente aconteceu em três proporções volumétricas (8,75; 17 e 35%) em relação ao volume de efluente. Os parâmetros de controle avaliados do processo de separação sólido-líquido foram Remoção de Turbidez, Volume de Lodo Flotado, Tempo de Flotação e Sedimentação após 30 minutos de repouso (RS30). De um modo geral, todas as concentrações testadas de polieletrólito favoreceram a maior remoção de turbidez, o que caracteriza uma vantagem ao emprego de dita metodologia para efluentes industriais. No entanto, estudos em torno da estabilidade do lodo flotado ainda são necessários.

**PALAVRAS-CHAVE:** Floculação Aerada, FAD, Efluente Industrial.

## **INTRODUÇÃO**

O processo de floculação é conhecido há mais de um século na área minero metalúrgica e se encontra totalmente incorporado na maioria dos processos extrativos e de beneficiamentos de minerais<sup>1</sup>. A floculação aerada é um processo de separação sólido-líquido que consiste na adição de um polímero de alto peso molecular na câmara de saturação da água e esta mistura, que contém as microbolhas e opolímero, é injetada no jarro com o efluente a ser tratado. Os flocos aerados são formados quando a mistura de microbolhas e o polímero entra em contato com o efluente e ocorre a floculação. Os flocos aerados ou *aeroflocs* constituem-se de estruturas compostas por partículas floculadas por polímeros de alto peso molecular e bolhas de ar. Estas

estruturas possuem elevadas velocidades de ascensão nas operações de flotação, conferindo elevadas taxas de separação sólido/líquido<sup>2</sup>. As causas de formação destes agregados potenciais ainda não são completamente explicadas na literatura, existindo algumas hipóteses de mecanismos envolvidos como, por exemplo, precipitação do polímero na interface líquida/ar, efeito *salting out* das cadeias poliméricas, crescimento e coalescência de bolhas de ar (aderidas e/ou aprisionadas) nas estruturas dos flocos<sup>3</sup>. O processo de floculação pode ser consideravelmente influenciado pela intensidade de aplicação da força de cisalhamento<sup>4</sup>. As forças hidrodinâmicas influenciam no fenômeno de adsorção polimérica e na eficiência de colisão entre as partículas e, assim, na eficiência da separação sólido-líquido. Embora a mistura aumente a frequência de colisão das partículas durante o processo de formação de flocos, a força de cisalhamento pode causar a fragmentação dos mesmos<sup>5</sup>. Também, uma agitação adequada deve possibilitar o contato satisfatório entre partículas e polímeros em solução com a prevenção de uma sedimentação durante o mecanismo de floculação. A eficiência da floculação também é muito influenciada pelo tipo de coagulante utilizado, de modo que o peso molecular e a densidade de carga das cadeias poliméricas desempenham importante função sobre os mecanismos envolvidos no processo<sup>6</sup>. O coagulante utilizado neste trabalho para o tratamento preliminar do efluente na geração de flocos expansivos foi o Tanino, que caracteriza-se por ser um coagulante/floculante vegetal não tóxico e de alta degradabilidade, ao contrário dos tradicionais produtos utilizados para este fim<sup>7</sup>, representando uma alternativa ecológica em tratamentos de efluente.

## MATERIAIS E MÉTODOS

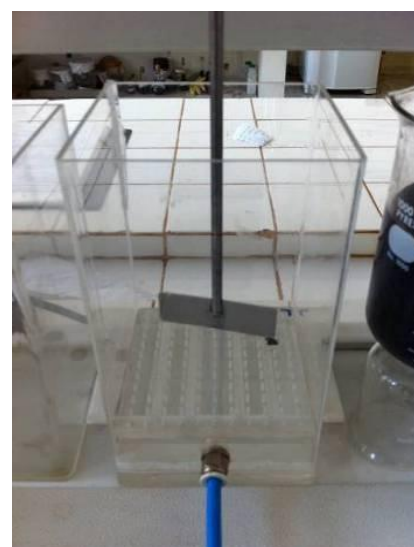
Os ensaios foram conduzidos em testes de jarro (*Jar Test*) com efluente de Lavanderia Industrial segundo ilustração mostrada na Figura 1. Uma câmara de saturação, desenvolvida e construída pelo Grupo de Pesquisa no ano de 2012 para a utilização nesse estudo, com capacidade de 6,0 Kgf cm<sup>-2</sup> (1 a)), placa distribuidora das microbolhas (1 b)), jarros adaptados ao processo de floculação aerada (1 c)). Um aparelho de “*Jar Test*” com 6 jarros adaptados para ensaios de flotação providos de sistema ajustável de agitação para diferentes agitadores. A base (inferior) dos jarros convencionais foi modificada para permitir a introdução e a distribuição uniforme de água saturada com ar e, consiste basicamente de placas contendo 121 orifícios de 2 mm cada, uniformemente distribuídos, assentada a 5 mm da placa de fundo do jarro (Figura 1 b)).



(a)



(b)



(c)

**Figura 1: (a) Câmara de Saturação; (b) Placa inferior do jarro desenvolvida para distribuição das microbolhas e (c) Célula de flotação (Jarros adaptados para injeção de água saturada com microbolhas de ar).**

O tratamento deste efluente aconteceu por um processo físico-químico baseado na:

#### Equalização:

Ajuste do pH utilizando-se solução de ácido sulfúrico 10% ( $H_2SO_4$ ) até pH 2;

#### Geração de cargas negativas:

A geração de cargas negativas foi realizada pela adição de solução de hidróxido de sódio 10% (NaOH) até tornar o sistema propício para ação do Tanino como coagulante;

#### Geração das microbolhas:

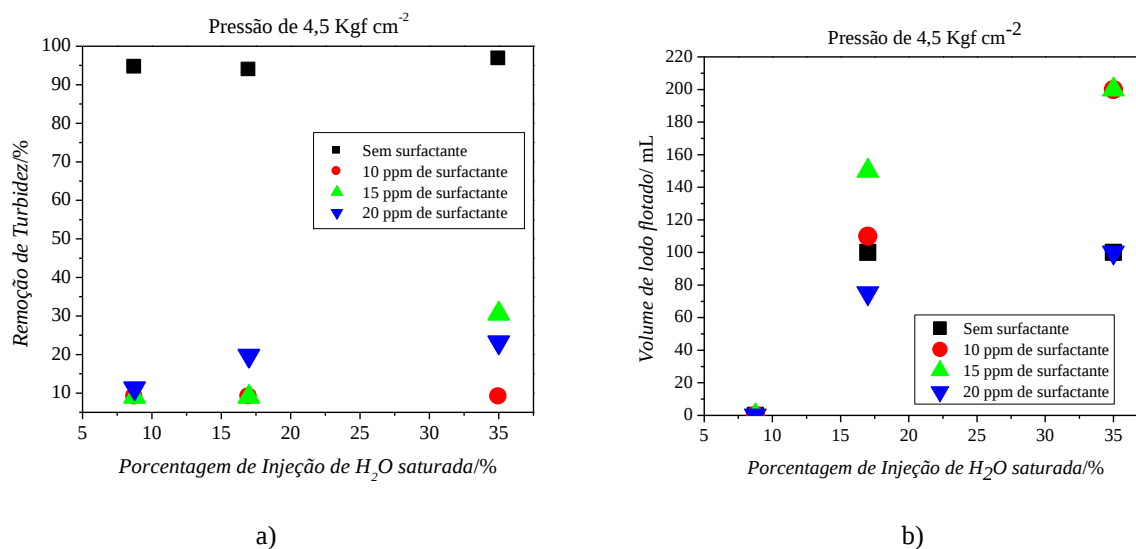
Inicialmente foi investigada a adição de diferentes concentrações de surfactante (0, 10, 15 ou 20 ppm de Dodecil sulfato de sódio) como auxiliar de flotação na pressão de  $4,5 \text{ Kgf cm}^{-2}$ , e no tratamento menos satisfatório foi então aplicada a floculação aerada com diferentes concentrações de polieletrólito (0,5; 1,0 ou 1,5 ppm de Nalclear 8173: Poliacrilamida Aniônica) juntamente com a concentração de surfactante menos favorável, gerando a mistura de microbolhas e floculante (floculação aerada).

#### Análise

Os parâmetros de controle para acompanhamento da eficácia da metodologia de tratamento do efluente foi a remoção de turbidez obtida em um turbidímetro (AP 2000 PoliControl), volume de lodo flotado, tempo de flotação e razão de sedimentabilidade após 30 minutos de repouso (RS30).

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

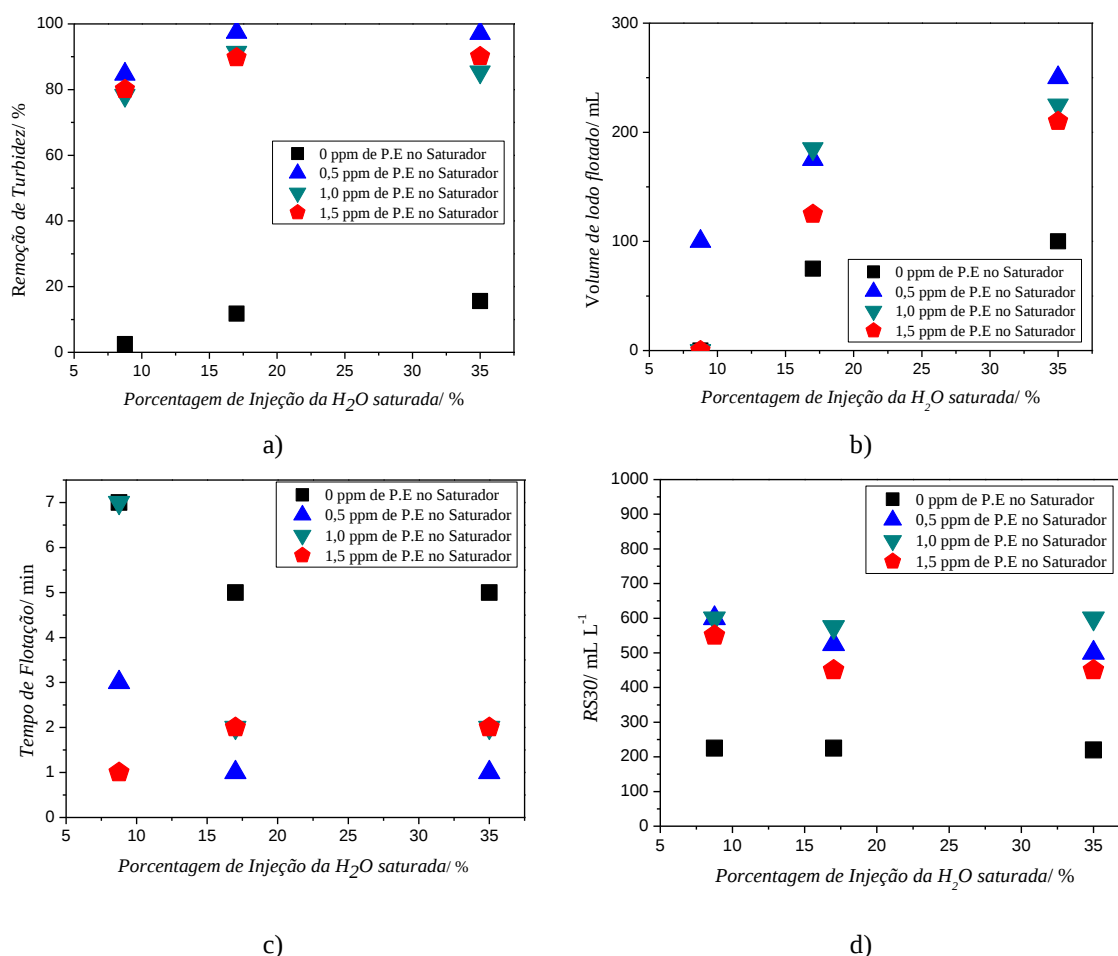
A fim de conhecer a contribuição da adição de surfactante na separação sólido-líquido via flotação por ar dissolvido, foram investigadas quatro concentrações (0; 10; 15 ou 20 ppm) de surfactante dodecil sulfato de sódio, saturado juntamente com a água a ser injetada. Os resultados em torno da remoção da turbidez e do volume de lodo flotado seguem na Figura 2.



**Figura 2- Variação da porcentagem de água saturada injetada ao efluente em função a) da variação da remoção de turbidez e do b) volume de lodo flotado resultantes da aplicada da FAD na ausência de surfactante, na presença de 10 ppm, na presença de 15 ppm e na presença de 20 ppm de dodecil sulfato de sódio, saturados à  $4,5 \text{ Kgf cm}^{-2}$ .**

Verifica-se que a adição de surfactante não promoveu remoção significativa da turbidez, mas em termos de volume de lodo, um lodo mais compacto foi obtido. Por isso o estudo da adição de surfactante em conjunto com o polieletrólito se fez necessário.

A fim de investigar a contribuição da adição de polieletrólito aniônico como alternativa de melhoramento a um dos tratamentos pouco eficazes, nesse caso empregando 20 ppm de surfactante (Dodecil sulfato de sódio), foram observados os seguintes parâmetros: remoção de turbidez, tempo de flotação, volume de lodo flotado e razão de sedimentabilidade após 30 minutos de repouso. Como alternativa ecológica, foi empregado o Tanino *tanfloc* classe SL como agente coagulante. Os resultados obtidos dos ensaios desenvolvidos em *Jar test* seguem resumidos na Fig. 3.



**Figura 3. Variação da porcentagem de água saturada injetada ao efluente em função a) da remoção de turbidez, b) do volume de lodo flotação, c) do tempo de flotação e d) da razão de sedimentabilidade após 30 min. Pressão de 4,5 Kgf cm<sup>-2</sup> com 20 ppm de surfactante.**

Características esperadas ⇨ Características obtidas

- Remoção de turbidez acima de 20% ⇨ maior remoção com adição de 0,5 ppm de P.E.;
- Volumes baixos de lodo flotado ⇨ menor volume de lodo com adição de 1,5 ppm de P.E.;
- Tempos baixos de flotação ⇨ tempo inferior a 3 min foram registrados com adição de 0,5 e 1,5 ppm de P.E.;
- Volumes baixos de lodo sedimentado após 30 min. ⇨ menor volume de sedimento com adição de 1,5 ppm de P.E.

De modo geral, para todas as concentrações e porcentagens de injeção da água contendo o P.E. ocorreu: remoção significativa de turbidez (acima de 75 %), redução do volume de lodo em torno de 250 mL/L (volume baixo para efluente de elevada concentração de sólidos suspensos) e baixo tempo de flotação (indicando rapidez na realização da flotação). Essas características sugerem que a adição de P.E. nas condições testadas favoreceram o acoplamento bolha-partícula agindo como um eficiente auxiliar na flotação para o tratamento inicialmente pouco eficaz (ou seja, aquele ao qual foi empregado surfactante). A adição de concentrações mais elevadas; em especial a de 1,5 ppm de P.E; representaram vantagem frente à remoção sólido-líquido.

## CONCLUSÕES

A adição de concentrações da ordem de 0,5-1,5 ppm P.E. saturado a  $4,5 \text{ kgf cm}^{-2}$  juntamente com 20 ppm de surfactante na água de injeção apresentou vantagem ao tratamento do efluente de uma lavanderia industrial que apresenta elevada concentração de sólidos e que torna difícil uma metodologia de tratamento.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a FAPEMIG pelo financiamento do projeto-EXA039 e do projeto APQ 2279, ao laboratório FECiv-UFU; pela utilização do espaço físico; e a Universidade Federal de Uberlândia.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

<sup>1</sup>Tessele, F.; Da Rosa J.; Souza, M. L.; Rubio, J. **Os avanços da flotação no tratamento de águas, esgotos e efluentes**. Parte II: Aplicações. Saneamento Ambiental, nº115, Julho/Agosto, 2005.

<sup>2</sup>Rulyov, N. N. **Hydrodynamic destruction of waste emulsions in the process of their separation through ultra-flocculation and micro-flotation**. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 152(1-2): 11-15, 1999.

<sup>3</sup> Rodrigues, R. T. e Rubio, J. **DAF-dissolved air flotation: Potential applications in the mining and mineral processing industry**. International Journal of Mineral Processing, 82(1): 1-13, 2007.

<sup>4</sup>Yukselen, M.A., Gregory, J. **The reversibility of floc breakage**. International Journal of Mineral Processing 73 (2-4), 251-259, 2003.

<sup>5</sup>Weir, S., Moody, G.M. **The importance of flocculant choice with consideration to mixing energy to achieve efficient solid/liquid separation**. Minerals Engineering 16, 109-113, 2003.

<sup>6</sup>Barany, S. **Kinetics of flocculation by polymers**. In: J. Ralston, J. Miller e J. Rubio (Editors). Flotation and Flocculation: From Fundamentals to applications, Kailua-Kona, Hawaii, pp. 51-58, 2002.

<sup>7</sup>Martinez, F. et al. **Resinas de taninos vegetais para a remoção de metais**. Universidade de Havana, Cuba, 1997.